

*IX Международная научно-техническая конференция
«Тепло- и массообменные процессы в металлургических системах»*

УДК 669.162.267

**ТЕПЛОФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ
ЕКЗОТЕРМІЧНИХ БРИКЕТІВ, ЩО МІСТЯТЬ ОКСИД МАГНІЮ З РІДКИМ
ЧАВУНОМ**

Нізяєв К. Г.¹, Бойченко Б. М.², Молчанов Л. С.³, Стоянов О.М.⁴, Синегін Є. В.⁵

В роботі представлені результати визначення фізико-хімічних та теплофізичних особливостей взаємодії екзотермічних брикетів, що містять оксид магнію з рідким чавуном. Встановлена середня швидкість руйнування тіла екзотермічного брикету при контакті з рідким металевим розплавом.

Постановка задач дослідження

У третьому тисячолітті дуже гостро постають питання енергетичної безпеки, тому актуальним завданням сьогодення є розробка або вдосконалення існуючих технологічних процесів металургійного виробництва з метою зниження енерго- та ресурсовитратності кінцевої продукції в цілому. Однією з технологічних операцій, що значно поліпшують структуру енерговитратності є процес позапічної десульфурзації рідкого чавуну екзотермічними брикетами, що містять оксид магнію [1]. Враховуючи, що в його основу покладений процес рафінування розплаву магнієм, який відновлено з оксиду в об'ємі розплаву за рахунок теплоти паралельних термітних реакцій є новим, то його теплофізичний бік є мало дослідженим. Тому метою даної роботи є дослідження теплофізичних та фізико-хімічних особливостей процесу взаємодії екзотермічних брикетів, що містять оксид магнію з рідким чавуном.

Методика проведення досліджень

Для проведення досліджень застосовували екзотермічну суміш, хімічний склад якої представлений у таблиці 1, яку формували в циліндричні брикети (з діаметром 35 мм і висотою 50 мм). Для введення брикетів під рівень рідкого чавуну застосовували експериментальну установку (рис. 1). Установка складається з наступних конструктивних елементів, що знаходяться у взаємозв'язку: піч Тамана, вогнетривка підставка, графітовий тигель з рідким чавуном, брикет з екзотермічної суміші, що містить оксид магнію, механічний захоплювач, кронштейн та термопар.

¹НМетАУ, докт. техн. наук, професор

²НМетАУ, докт. техн. наук, професор

³НМетАУ, канд. техн. наук, доцент

⁴НМетАУ, канд. техн. наук, доцент

⁵НМетАУ, асистент

Таблица 1 Хімічний склад екзотермічної суміші

Склад суміші, %			
FeO	MgO	Al	CaO
56,00	15,00	22,00	7,00

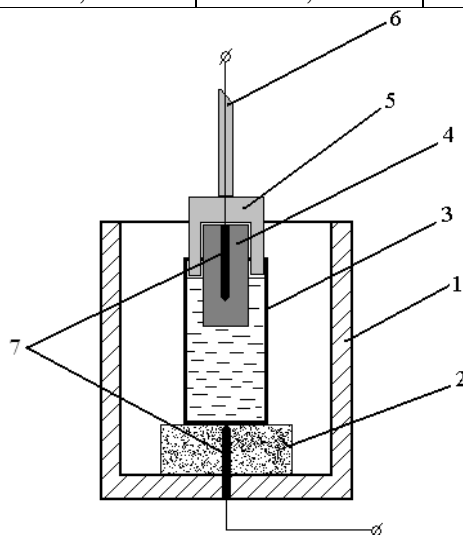


Рис. 1 Схема експериментальної установки:

1 - піч Тамана; 2 - вогнетривка підставка, 3 – графітовий тигель з рідким чавуном, 4 – брикет екзотермічної суміші, що містить оксид магнію;
5 - механічний захоплювач; 6 - кронштейн; 7 - термопари ВР-5/ВР-20

Для експериментальних досліджень застосовували чавун, хімічний склад якого наведено в таблиці 2, у кількості 1600 г. Попередньо його подрібнювали до фракції 15 – 20 мм, завантажували в графітовий тигель встановлений у печі Тамана та нагрівали до температури 1350°C. Контроль температури розплаву здійснювали за допомогою визначення показників термопари ВР-5/ВР-20 підведеної до дна тигля.

Таблица 2 Хімічний склад чавуну

Вміст складових, %				
C	Mn	Si	S	P
4,38	0,55	0,87	0,032	0,148

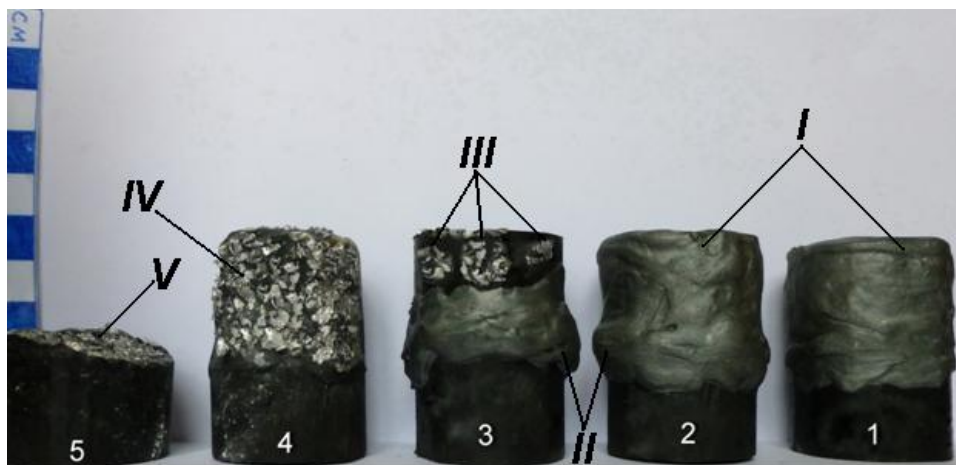
Для отримання термограми процесу нагрівання брикетів з екзотермічної суміші, що містить оксид магнію, здійснювався контроль температури всередині брикету. З цією метою всередині брикету була розміщена термопара ВР-5/ВР-20, за допомогою якої безперервно

проводили вимірювання температури у зоні центрального перетину брикету на кожному з часових проміжків.

У процесі проведення досліджень були виготовлені п'ять однакових екзотермічних брикетів, які послідовно занурювали в розплавлений чавун і витримували протягом 5, 10, 20, 30 та 50 с, витягали й фотографували. Після обробки брикети витягали, охолоджували на повітрі та розпилювали вздовж поздовжньої вісі з подальшим визначенням площі зруйнованої при контакті з розплавом за допомогою засобів планіметрії.

Результати проведеного дослідження

Згідно до теплофізичної теорії взаємодії твердих тіл з розплавами при введенні брикету з екзотермічної суміші, що містить оксид магнію, в обсяг рідкого чавуну протікають наступні процеси: 1) намерзання розплаву, 2) плавлення намерзлої кірки і 3) протікання фазових та хімічних перетворень у матеріалі, що вводиться при контакті з розплавом, що приводить до руйнування матеріалу [2]. На рис. 2 представлені фотографії брикетів, які були витягнуті з рідкого чавуну після витримки протягом 5, 10, 20, 30 та 47 с відповідно. Вони підтверджують правильність обраної фізико-хімічної схеми.



I – тонка плівка намерзлого розплаву; *II* – збільшення товщини плівки намерзлого розплаву в зоні контакту розплаву з брикетом та газовою фазою; *III* – зона локального руйнування брикету; *IV* – зона поверхневого руйнування брикету; *V* – ділянка брикету, що безпосередньо контактує з розплавом після об'ємного руйнування

Рис. 2 – Фотографії експериментальних зразків при різній тривалості контактування з рідким чавуном: 1 – $\tau = 5$ с; 2 – $\tau = 10$ с; 3 – $\tau = 20$ с; 4 – $\tau = 30$ с; 5 – $\tau = 47$ с

Протягом 10 с витримки протікає перша стадія, яка супроводжується послідовним намерзанням металевого розплаву на поверхні брикету товщиною 0,8 – 0,2 мм по закінченню 5 с та 0,5 – 1,5 по закінченню 10с. При витримці брикету під рівнем розплаву

протягом 20 с спільно протікають перша та друга стадії. Таким чином у зоні брикету, що знаходиться поблизу газової фази продовжують протікати процеси намерзання розплаву, а у всіх інших ділянках протікають процеси плавлення намерзлої кірки розплаву з наступним локальним руйнуванням поверхні. Приріст кірки металевого розплаву в зоні контакту брикету з газовою фазою склав 1,5 – 2 мм, а глибина поверхневого руйнування решти поверхні брикету становить 0,5 – 0 мм. Протягом 30 с витримки брикету під рівнем розплаву протікає третя стадія, яка супроводжується процесом руйнування матеріалу брикету. Таким чином, вся поверхня брикету схильна до руйнування, глибина якого знаходиться у діапазоні 5 – 7 мм. При витримці брикету під рівнем розплаву протягом 47 с протікає третя стадія, при якій має місце об'ємне руйнування брикету.

Найбільш значимим параметром взаємодії брикету з екзотермічної суміші, що містить оксид магнію з металевим розплавом є швидкість його руйнування, яка значною мірою залежить від швидкості протікання хімічних та фазових перетворень. На кожній з проміжних ділянок часу була визначена середня глибина руйнування поверхні брикету та розрахована його середня швидкість (таблиця 3). Враховуючи, що процес взаємодії поділяється на етапи намерзання, плавлення розплаву та безпосередньої взаємодії екзотермічної суміші з розплавом, то доцільно визначення швидкості зміни геометричних розмірів брикету поділити на 2 етапи. На першому етапі була визначена швидкість намерзання розплаву на поверхню брикету. Максимального значення вона досягає у діапазоні витримки 5 – 10 с, що пов'язано з інтенсивними процесами тепловідведення до матеріалу брикету.

Таблиця 2 Середня швидкість та глибина руйнування брикету

Тривалість контакту з розплавом, с	Середні параметри руйнування		
	глибина, мм	швидкість намерзання, мм/с	швидкість руйнування, мм/с
0	0	0	0
5	+0,5	+0,1	–
10	+1	+0,1	–
20	+1	+0,05	–
30	-6	–	-0,2
47*	-11	–	-0,23
Середнє значення	–	0,083	0,215

* – об'ємне руйнування брикету

На другому етапі була оцінена швидкість руйнування матеріалу екзотермічного брикету при контакті з рідким чавуном. Найбільших значень вона досягає при витримці 47 с, що пов'язано з інтенсивним протіканням реакцій термітного відновлення оксидів заліза та

відновлення оксидів магнію. Середня швидкість процесу намерзання розплаву та руйнування екзотермічного брикету складають 0,083 мм / с й 0,215 мм / с відповідно.

Паралельно з вивченням процесів руйнування матеріалу брикету було проведено дослідження зміни температури всередині брикету у процесі контакту з рідкою металевою фазою. Таким чином, шляхом зняття показань з термопари, розташованої безпосередньо всередині брикету, була отримана термограма процесу взаємодії екзотермічної суміші з рідкої металевої фазою (рис. 3).



Рис. 3 Термограма процесу нагрів екзотермічного брикету при контакті з рідким чавуном у центральному перетині

Процеси намерзання розплаву у межах перших 10 с характеризуються постійною швидкістю нагрівання, що відображено на термограмі у вигляді постійного кута нахилу кривої. Тривалість витримки 20 с відповідає процесам плавлення намерзлого розплаву, відображених зміною кута нахилу термограми. При витримці брикету протягом 30 с відбувається зміна кута нахилу термограми, що викликано плавленням алюмінію та початком протікання реакцій відновлення оксидів заліза. При витримці брикету під рівнем рідкого чавуна на протязі 47 с протікають алюмотермічні реакції відновлення оксидів заліза та магнію, внаслідок чого процес руйнування брикету носить об'ємний характер.

При визначенні механізмів рафінування рідкого чавуну, для випадку що розглядається, було проведене експериментальне дослідження динаміки видалення сірки з розплаву. По ходу процесу витримки брикету у об'ємі рідкого розплаву відбиралися проби з інтервалом 10 с між кожною. Експеримент повторювали тричі для виключення грубих помилок. Отримані усереднені експериментальні дані представлені у графічному вигляді на рис. 4.

У перші 10 с обробки спостерігається незначне збільшення вмісту сірки у розплаві, що пов'язано з процесами намерзання розплаву у цей період (в першу черг кристалізується розплав з

меншим вмістом домішок, оскільки має більшу температуру ліквідус). У інтервалі 10 – 40 с спостерігається практично лінійна залежність видалення сірки з розплаву з майже постійною швидкістю. Це пов'язано з поступовим розчиненням брикету у розплаві у цей період.

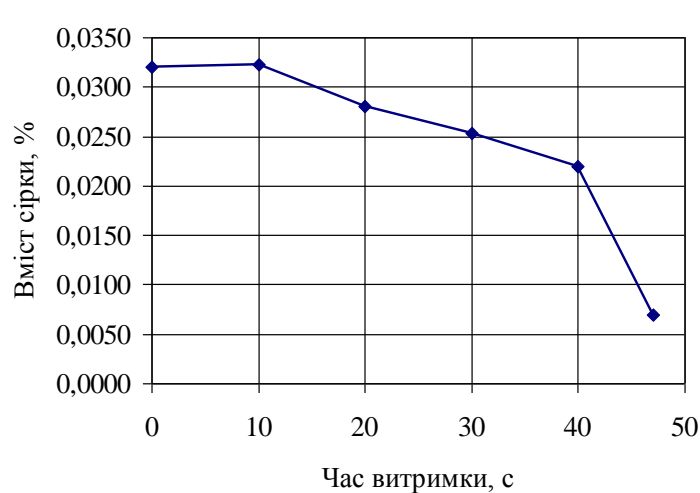


Рис. 4 Динаміка зміни концентрації сірки у розплаві при обробці екзотермічними брикетами

У інтервалі 40 – 47 с спостерігається різке зниження вмісту сірки через об'ємне руйнування брикету в обсязі розплаву та утворення значної поверхні контакту шлакової та металевої фаз насичених випарами магнію. Таким чином динаміка видалення сірки з розплаву відповідає динамічним закономірностям руйнування брикетів при взаємодії з рідким чавуном. За результатами лабораторних досліджень розроблена модель фізико-хімічної взаємодії процесу обробки рідкого чавуну екзотермічними брикетами, що містять оксид магнію. Основні її положення полягають у наступному: при контакті екзотермічного брикету з рідким розплавом починають протікати відновлювальні процеси, які призводять до утворення реакційної зони на поверхні брикету; у ній утворюється рідка металева й шлакова фази та випари магнію; при взаємодії випарів магнію та шлако-металевої емульсії з рідким чавуном відбувається його рафінування.

Висновки

У статті проаналізовані фізико-хімічні та теплофізичні особливості процесу взаємодії екзотермічного брикету, що містить оксиди магнію, з рідким чавуном. Встановлено основні закономірності цього процесу.

Перелік використаних джерел

1. Порівняння енергоефективності технологій позапічної десульфурзації чавуну шляхом математичного моделювання / О. М. Стоянов [та ін.] // Системні технології : регіон. міжвуз. зб. наукових праць. – 2013. – № 4 (87). – С. 111-115.
2. Коган В. Е. Физическая химия. Ч. 2. Химическая кинетика : учебное пособие / В. Е. Коган, Г. С. Зенин, Н. В. Пенкин. – СПб. : СЗТУ, 2005. – 226с.